

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2001年 2月28日
Date of Application:

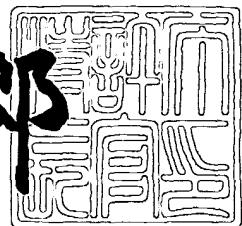
出願番号 特願2001-055604
Application Number:
[ST. 10/C] : [JP2001-055604]

出願人 オリンパス光学工業株式会社
Applicant(s):

2003年 7月 8日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



【書類名】 特許願
【整理番号】 A000003053
【提出日】 平成13年 2月28日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 G01B 11/24
【発明の名称】 共焦点顕微鏡および光学式高さ測定方法
【請求項の数】 4
【発明者】
【住所又は居所】 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリンパス光学
工業株式会社内
【氏名】 江田 幸夫
【特許出願人】
【識別番号】 000000376
【氏名又は名称】 オリンパス光学工業株式会社
【代理人】
【識別番号】 100058479
【弁理士】
【氏名又は名称】 鈴江 武彦
【電話番号】 03-3502-3181
【選任した代理人】
【識別番号】 100084618
【弁理士】
【氏名又は名称】 村松 貞男
【選任した代理人】
【識別番号】 100068814
【弁理士】
【氏名又は名称】 坪井 淳

【選任した代理人】

【識別番号】 100091351

【弁理士】

【氏名又は名称】 河野 哲

【選任した代理人】

【識別番号】 100100952

【弁理士】

【氏名又は名称】 風間 鉄也

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011567

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0010297

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 共焦点顕微鏡および光学式高さ測定方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 共焦点ディスクを通過した光源からの光を対物レンズを介して試料上で走査し、前記対物レンズを介して前記共焦点ディスクを透過した試料からの光を光電変換手段に結像させ共焦点画像を得る共焦点光学系を備え、

前記光源と前記対物レンズとの間にあって、光軸方向のセクショニング効果を可変可能にする可変絞りを前記対物レンズの瞳位置またはこの瞳位置と共に位置に配置したことを特徴とする共焦点顕微鏡。

【請求項 2】 光源からの光を共焦点ディスクおよび対物レンズを介して試料上に走査させ、この試料からの光を前記対物レンズおよび前記共焦点ディスクを通してセクショニング像を取得する第1の結像光学系と、

この第1の結像光学系に光学的に連結され、前記セクショニング像を結像レンズを介して光電変換手段に結像させる第2の結像光学系と、

前記試料と前記対物レンズの一方を光軸方向に相対的に移動させる移動手段と

前記光源と前記対物レンズとの間にあって、前記対物レンズの瞳位置またはその瞳位置と共に位置に配置され光軸方向のセクショニング条件を可変可能にする可変絞りと

を具備したことを特徴とする共焦点顕微鏡。

【請求項 3】 前記共焦点ディスクは、遮光ラインと透過ラインを有する周期的ラインパターンが形成された回転型ディスクであることを特徴とする請求項1または2記載の共焦点顕微鏡。

【請求項 4】 試料と対物レンズの一方を光軸方向に相対的に移動させながら共焦点ディスクを通過した光源からの光を対物レンズを介して試料上で走査し

前記対物レンズを介して前記共焦点ディスクを透過した試料からの光を光電変換手段によりセクショニング像として取得し、前記光軸方向の複数の位置における前記セクショニング像より前記試料の高さを測定する光学式高さ測定方法であ

って、

測定精度に応じて前記対物レンズの瞳位置またはその瞳位置と共役な位置に配置された絞りを変え前記対物レンズのNAを変更することを特徴とする光学式高さ測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、測定対象物の高さ測定を光学的に測定する共焦点顕微鏡および光学式高さ測定方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

最近、LSIの高集積化にともないLSIチップの電極数が増大し、また、実装密度も高くなっている。このような背景から、LSIチップの電極としてバンプ電極が採用されるようになっている。

【0003】

図6は、このようなバンプ電極が形成されたLSIチップの概略構成を示すもので、LSIチップ100上に半球状のバンプ101が複数形成されている。この場合、これらバンプ101の大きさやバンプ101間のピッチは様々であるが、例えば半径50μm、ピッチ200μmなどが用いられ、LSIチップ100が10mm×10mmとすると、数千個にもなる膨大な数のバンプが形成されている。

【0004】

そして、このようなバンプ101が形成されたLSIチップ100は、図7に示すように基板102上に逆さまにして接触させるとともに、基板102上の電極（図示せず）にバンプ101を接続する、所謂、フリップチップ接続が行われる。

【0005】

この場合、当然のことながら基板102上の電極（図示せず）とバンプ101の間は、正確に接続されることが重要であり、このためバンプ101について形

状および高さが正確に形成されていることが必要になる。

【0006】

ところが、LSIチップ100上のバンプ101は、図8に示すように設計上、点線で示した高さレベルに高さ寸法が揃っていることが前提になっているものの、実際は、製造上の誤差などにより黒塗りしたバンプ101のように設計高さよりも高いものや低いものが存在する。したがって、このようなLSIチップ100について上述したフリップチップ接続を行うと、基板102との間で接触不良を発生するおそれがある。

【0007】

このため、このようなバンプ101が形成されるLSIチップ100としては、バンプ101の高さが、あるバラツキの範囲のもののみを使用する必要があり、このような背景から、フリップチップ接続の前に全バンプの高さを数μmの精度でインライン検査することが要求されている。

【0008】

そこで、従来、特開平9-113235号公報、特開平9-126739号公報に開示されたように、共焦点光学系を用いた高さ測定装置が考えられている。この場合の共焦点光学系は、レーザ走査式やディスク方式（Nipkowディスク）が知られているが、いずれも高さ方向（光軸方向）の分布を検出光量に変換する機能を有するものである。

【0009】

図9は、このような共焦点光学系の原理を示すもので、光源211から放射された光はピンホール212、ビームスプリッタ213、対物レンズ214を通してサンプル215上に集光する。また、サンプル215で反射した光は、対物レンズ214、ビームスプリッタ213を通してピンホール216に集光され、CCDなどの光検出器217で受光される。ここで、サンプル215が光軸方向に△Zずれたとすると、サンプル215で反射した光は、図示破線の経路を通じて検出ピンホール216上では、大きく広がるため、検出ピンホール216を通過できる光量は非常に小さくなり、実質的には通過光量は0とみなせる。

【0010】

図10は、サンプル215のZ方向の移動位置と検出ピンホール216を通過する光量Iの関係(I-Z特性)を示すもので、対物レンズ214の開口数(NA)をパラメータとした場合の焦点位置を基準としたサンプル215の位置Zと光量Iの関係を最大値で規格化して示すものであり、サンプル215が焦点位置(Z=0)にある場合に最も光量Iが大きく(I=1)、焦点位置から離れるにしたがい光量Iが減少する。したがって、共焦点光学系でサンプル215を観察すると、焦点位置付近だけが明るく見え、これを共焦点光学系のセクショニング効果と呼んでいる。つまり、通常の光学顕微鏡では、焦点位置から外れた部分のボケ像と合焦位置の像が重なって観察されるが、共焦点光学系では、セクショニング効果により合焦位置だけのスライス像が観察されるようになり、これが通常の光学顕微鏡と大きく異なる点である。また、セクショニング効果は、対物レンズ214のNAが大きいほど顕著であり、例えば、NA=0.3の場合、焦点位置から±10μm以内のサンプル215のスライス像だけが観察できる。

【0011】

そして、特開平9-113235号公報では、このような共焦点光学系のI-Z特性を利用して離散的なセクショニング画像を取得し、各画素の最大輝度を含む3つのIZデータから2次曲線を近似し、IZピーク位置を推定し高さ情報を得るようにしている。つまり、共焦点光学系のセクショニング効果を利用してカーブフィッティング、例えば上述の2次曲線近似を行い、サンプルの高さ測定を行うようにしているが、この場合、IZカーブのある強度以上の中に、最低3枚のセクショニング画像が必要である。ここで、セクショニング画像を3枚必要とするのは、2次元近似を行うのに、未知数が3個あるために数学的に必要な数である。また、3枚のセクショニング画像がIZカーブのある強度以上の中に必要な理由を図11に基づいて説明すると、同図は、実際にNA=0.3の対物レンズのIZカーブを測定した例であり、同図からも明らかなように、実測IZカーブの裾野部分は、対物レンズの収差により、その形状が乱れているのがわかる。従って、カーブフィッティングを行うには、IZカーブの乱れが問題にならない部分のデータを使用する必要がある。ここでは、強度が0.4以上のあたりと考えてよく、簡単のため、強度が0.5以上とすると、この強度0.5以上の領域

にカーブフィッティングを計算するのに最低限必要なデータ点数（2次曲線にフィッティングする場合はデータ数3個）が必要となり、Z方向のサンプリング間隔の最大値の制限が出てくる。そして、強度0.5でZ方向のIZカーブの全幅をW0.5とすると、 $W0.5 = 8 \mu m$ であり、この中で3個のデータを必要とすると、Z方向のサンプリング間隔は、最も粗い場合で $8 \mu m / 3 = 2.67 \mu m$ となり、図11のIZカーブでは、Z方向のサンプリング間隔を、 $2.67 \mu m$ より粗くすることはできない。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】

このようにしてカーブフィッティングを行いながら高さ測定を行うような場合、上述したZ方向のサンプリング間隔の最大値の制限から、この制限値よりも粗くZ方向のサンプリングを行うことができない。

【0013】

このために、以下のような問題が生じる。例えば、バンプ高さ検査において、高さ測定精度を多少犠牲にしても大きな測定レンジが必要で、かつ検査時間を増大させたくない場合で、この場合、検査時間を増大させないために、Z方向のサンプリング間隔を粗くしてセクショニング画像の取得枚数を抑えることが効果的であるが、上述したようにセクショニング画像のZ方向のサンプリング間隔の最大値制限があるため、大きな高さ測定レンジに対応するためには、セクショニング画像の枚数を増やすしかなく、結果的にバンプ高さ検査時間が増大してしまい、1チップあたりの検査コストの増大を招くという問題が生じる。

【0014】

この問題を解決するため、NAの異なる複数の対物レンズを切換えて使用することが考えられるが、バンプ高さ検査に用いられるような低倍率（広視野）の割にNAが大きい（NA=0.3、NA=0.25など）対物レンズは、大型で高価なものであり、しかも対物レンズの切替え機構も複雑になることから、この場合も1チップあたりの検査コストの増大を招くという問題が生じる。

【0015】

本発明は上記事情に鑑みてなされたもので、検査コストの低減を図ることがで

きる共焦点顕微鏡および光学式高さ測定方法を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】

請求項1記載の発明は、共焦点ディスクを通過した光源からの光を対物レンズを介して試料上で走査し、前記対物レンズを介して前記共焦点ディスクを透過した試料からの光を光電変換手段に結像させ共焦点画像を得る共焦点光学系を備え、前記光源と前記対物レンズとの間にあって、光軸方向のセクショニング効果を可変可能にする可変絞りを前記対物レンズの瞳位置またはこの瞳位置と共に位置に配置したことを特徴としている。

【0017】

請求項2記載の発明は、光源からの光を共焦点ディスクおよび対物レンズを介して試料上に走査させ、この試料からの光を前記対物レンズおよび前記共焦点ディスクを通してセクショニング像を取得する第1の結像光学系と、この第1の結像光学系に光学的に連結され、前記セクショニング像を結像レンズを介して光電変換手段に結像させる第2の結像光学系と、前記試料と前記対物レンズの一方を光軸方向に相対的に移動させる移動手段と、前記光源と前記対物レンズとの間にあって、前記対物レンズの瞳位置またはその瞳位置と共に位置に配置され光軸方向のセクショニング条件を可変可能にする可変絞りとを具備したことを特徴としている。

【0018】

請求項3記載の発明は、請求項1または2記載の発明において、前記共焦点ディスクは、遮光ラインと透過ラインを有する周期的ラインパターンが形成された回転型ディスクであることを特徴としている。

【0019】

請求項4記載の発明は、試料と対物レンズの一方を光軸方向に相対的に移動させながら共焦点ディスクを通過した光源からの光を対物レンズを介して試料上で走査し、前記対物レンズを介して前記共焦点ディスクを透過した試料からの光を光電変換手段によりセクショニング像として取得し、前記光軸方向の複数の位置における前記セクショニング像より前記試料の高さを測定する光学式高さ測定方

法であって、測定精度に応じて前記対物レンズの瞳位置またはその瞳位置と共に役な位置に配置された絞りを変え前記対物レンズのNAを変更することを特徴としている。

【0020】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に従い説明する。

【0021】

(第1の実施の形態)

図1は、本発明が適用される共焦点顕微鏡の概略構成を示している。

【0022】

図において、1は、ハロゲン光源又は水銀光源等の光源で、この光源1から出射される光の光路上に、光源1とともに照明光学系を形成するレンズ2、PBS(偏光ビームスプリッター)3が配置されている。また、PBS3の反射光路上には、セクショニング効果を持つ第1の結像光学系を構成する例えばNi pko wディスク等の共焦点ディスク4、結像レンズ6、1/4波長板7、絞り13、対物レンズ8を介してサンプル9が配置されている。ここで、絞り13は、対物レンズ8の瞳位置に配置されるもので、開口径を可変可能な羽絞りまたは開口径の異なる複数のピンホールを光軸上に選択的に交換可能な固定絞りが用いられる。図示例では、後述するコンピュータ14の指示により絞り径が制御される可変絞りが用いられている。また、サンプル9からの反射光のPBS3の透過光路上には、第1の結像光学系と直列に、第2の結像光学系を構成するレンズ10、絞り141、レンズ11を介してCCDカメラ12が配置されている。

【0023】

この場合、共焦点ディスク4として使用したNi pko wディスクは、円板上にピンホールの配置が螺旋状で、各ピンホールの距離がピンホールの直径の10倍程度に配置されたもので、モータ5の軸に連結され、一定の回転速度で回転されるようになっている。この共焦点ディスク4は、セクショニング効果を発生するものであれば、国際公開番号第97/31282号に開示されているTony Wilsonディスクや当社で開発(特願2000-060578号)した直

線状に形成した透過パターンと遮光パターンを交互に形成されるものであってもよく、また、円板状に限らず液晶シャッタのようなものでもよい。また、サンプル9は、LSIチップ上に半球状のバンプを形成したものからなっていて、サンプルステージ16上に載置されている。

【0024】

このCCDカメラ12にはコンピュータ14が接続され、コンピュータ14からの指示により撮像の開始、終了、撮像画像の転送などが制御される。コンピュータ14は、CCDカメラ12で撮像された画像データを取り込み演算処理して図示しないモニタに表示させるとともに、焦点移動装置15に駆動指令を与える。焦点移動装置15は、コンピュータ14の駆動指令により、サンプルステージ16または対物レンズ8を光軸方向に移動させて複数枚の画像を取得するようにしている。

【0025】

このような構成において、光源1から出射された光は、レンズ2を通って平行光となり、PBS3で反射され、一定の速度で回転する共焦点ディスク4に入射され、共焦点ディスク4のピンホールを通過した光は、結像レンズ6を通り、1/4波長板7で円偏光になって、絞り13を通り対物レンズ8によって結像されサンプル9に入射される。また、サンプル9から反射された光は、対物レンズ8、絞り13を介し、再度、1/4波長板7で入射時とは直交する偏光方向になり、結像レンズ6により共焦点ディスク4上に試料像を投影する。そして、共焦点ディスク4上に投影されたサンプル像のうち焦点の合っている部分はピンホールを通過し、さらにPBS3を透過してレンズ10、絞り141、レンズ11を介してCCDカメラ12で撮像される。CCDカメラ12で撮像された共焦点画像は、コンピュータ14に取り込まれ、図示しないモニタに表示される。

【0026】

ここで、図1では、簡単のため共焦点ディスク4上の複数のピンホールのうち、2個のピンホールを通過した光に着目して図示している。また、共焦点ディスク4のピンホールと対物レンズ8の焦点面は共役であり、結像レンズ6、対物レンズ8、絞り13は両側テレセントリック系の配置になっている。さらに、光源

1と絞り13は、共役関係にあり、サンプル9を均一に照明できるケーラー照明となっている。以上のような第1結像光学系によりサンプル9の光軸方向の高さ分布を共焦点光学系のI-Z特性を利用して光強度情報に変換することができる。また、絞り13は、可変絞りまたは交換可能な絞りであり、後で詳述するよう に本発明の最も重要な要件である。

【0027】

一方、共焦点ディスク4とCCDカメラ12は、レンズ10、11により共役関係にあり、また、レンズ10、11、CCDカメラ12からなる第2の結像光学系もレンズ10、11は、絞り141の存在により両側テレセントリック系の配置になっている。この第2の結像光学系は、テレセントリックでなくともよいが、第2の結像光学系の長さが問題にならなければ、周辺光量の低下が起きにくいテレセントリック系が望ましい。

【0028】

このような第1の結像光学系と第2の結像光学系により、CCDカメラ12では、対物レンズ8の焦点面付近だけのスライス画像が撮像される。この撮像されたスライス画像は、モニター上に表示すると、焦点面だけが明るく見え、焦点面から光軸方向にずれた部分は暗く見える。そして、焦点移動装置15によりサンプルステージ16または対物レンズ8を光軸方向に移動させて複数枚の画像を取得すれば、サンプル9の3次元情報を得ることができる。なお、この場合のXYの測定範囲は、CCDカメラ12での撮像視野、Z測定範囲は、焦点移動させてスライス画像を撮像した範囲である。

【0029】

次に、サンプル9として、LSIチップ9a上に多数形成されたバンプ9bを観察した場合の様子を図2により説明する。

【0030】

まず、図2(a)は、LSIチップ9a上のバンプ9bの頂点付近に合焦した場合の共焦点画像で、図面中のバンプ9bの中心に示した白抜きの明るく見える領域をφとすると、この部分、つまりバンプ9bの頂点付近だけが明るい画像が観察できる。なお、同図(a)では、LSIチップ9a面とバンプ9bの黒塗り

部分の濃度が異なるように表わされているが、これは説明上のものであって、実際には、明るく見えるのはバンプ9 bの頂上付近だけであり、それ以外は、ほとんど真っ暗である。

【0031】

この状態から、合焦位置をLSIチップ9 a面に近づけて行くと、共焦点光学系のセクショニング効果によりバンプ9 bの頂上付近は徐々に暗くなって、やがてバンプ9 bは、真っ暗になり、さらに合焦位置をLSIチップ9 a面に近づけていくと、徐々にLSIチップ9 a面が明るく見えてきて、LSIチップ9 a面に合焦した状態になると、図2 (b) に示すようにバンプ9 bは、ほとんど真っ暗な状態になり、LSIチップ9 a面が最も明るく見えるようになる。

【0032】

実際には、図2 (a) (b) に示す画像は、CCDカメラ12により撮像するので、この撮像の場合を考える。CCDカメラ12に用いられるCCDの画素寸法は、通常、数 μm ~ $10\mu\text{m}$ 程度であるが、簡単なため $10\mu\text{m}$ の正方画素とすると、価格的にも入手が容易になった 1000×1000 (100万画素)では、画素サイズが $10\mu\text{m}$ 程度であるためCCDサイズとしては、 $10\times10\text{mm}$ となり、この結果、光学系総合倍率を1倍とすれば、 $10\times10\text{mm}$ のサンプル9を一度に観察できることになる。このことから、高速検査を実現するには、光学系総合倍率が1倍になるような広視野光学系を実現する必要があるが、この場合は、第1の結像光学系の倍率が3倍、第2の結像光学系の倍率が $1/3$ 倍のような組み合わせが考えられ、また、実用化においては、総合倍率が2倍に設定される場合や $1/2$ 倍等の縮小系に設定される場合もある。

【0033】

次に、第1の結像光学系のNAで決定されるセクショニング効果とセクショニング画像を取得するZ方向のサンプリング間隔 ΔZ について説明する。

【0034】

ところで、上述した図10に示すようにセクショニング効果すなわちIZカーブの急峻さはNAで決定される。図10には、理論IZカーブでNAが0.3、0.25、0.2の3通りが示されている。ここで、このようなNAのIZカーブ

ブを図示した理由は、第1の結像光学系の倍率を3倍程度の低倍率で考えると、実用化可能と考えられる最も大きなNAの対物レンズがNA = 0.3程度であるという予想からである。なお、NAが0.25、0.2と小さくなるほど、その設計、制作の難易度が若干緩和されるが、いずれにしても低倍率にしては、高NAなので、対物レンズ8としては、高価で比較的大型のものになる。

【0035】

次に、実際に、対物レンズ8としてNA = 0.3程度のものを使用して高さ測定を行う場合を説明する。この場合、図10は、理論IZカーブなので焦点位置($Z = 0 \mu\text{m}$)に対して完全に対称形であるが、実際のNA = 0.3の対物レンズ8のIZカーブは、図11に示すように裾野の部分は、収差により乱れた状態になっている。従って、IZカーブからセクショニング画像をZ方向に ΔZ で離散的にサンプリングして、2次曲線やガウス分布曲線でフィッティングし、そのピーク位置のZをバンプの高さ情報として得るような場合、収差により乱れを生じている裾野部分のデータは使用しないことが測定精度を高める上で必要である。なお、フィッティングに際しては、理論的なIZカーブ($(\sin(x)/x)^2$ の形式)がガウス分布曲線($\exp(-(x-a)^2/2*\sigma^2)$ 、 σ ：標準偏差、 a ：平均値)によりかなりよく近似できるので、2次曲線よりガウスフィッティングの方が有利である。また、ガウスフィッティングは、自然対数を取れば2次曲線として扱えるので、計算もそれほど面倒でない。

【0036】

また、CCD量子雑音(∞ (明るさ) $1/2$)などのS/Nの面から考えても焦点位置から大きく離れた暗いデータをフィッティングに使用するのは好ましくない。このような理由から、ある閾値 I_{th} 以上のデータを有効とし、閾値 I_{th} 以下のデータは無効とするのが好ましい。ガウスまたはフィッティングのいずれにしろ、数学的には I_{th} 以上のデータが最低3個必要となる。最低限必要なデータ個数は、フィッティングに使用する関数に含まれる係数の数と同じであるが、上述の理由からガウス分布で十分と考えられるので、このあとの説明では、ガウス分布を使用することを前提としておく。ただし、ガウス分布で説明したからといって、本発明の主旨は変わらない。

【0037】

また、閾値 I_{th} の決め方は、画像の S/N や使用する対物レンズ 8 の IZ カーブの裾野の乱れなど総合的に判断して、適宜選択すればよいが、ここでは、図 11 の実測 IZ データの乱れに基づいて、 $I_{th} = 0.5$ として考えてみる。実際、0.4 程度までは、図 10 の $NA = 0.3$ の理論 IZ と図 11 の実測 IZ は、非常によく一致しているので、 $I_{th} = 0.5$ は妥当である。

【0038】

図 11 の実測 IZ の $I_{th} = 0.5$ での Z 方向の全幅 $W0.5$ は、全幅 $W0.5 = 8 \mu m$ である。したがって、この中に最低 3 個の離散的な IZ データが必ず存在するための Z 方向のサンプリング間隔 ΔZ は、 $\Delta Z = 8 \mu m / 3 = 2.67 \mu m$ となる。そして、 ΔZ を $2.67 \mu m$ よりも細かくして常に 4 個以上のデータを使用してフィッティングすれば、検査時間は長くなるが、ピーク推定位置の精度は、さらに高くすることができる。これを高精度検査モードと呼ぶことにする。実際、 $\Delta Z = 2.67 \mu m$ で離散的 IZ データを取得し、フィッティングすれば、高さ測定精度は、 $\pm 1 \mu m$ 程度に収めることは可能である。

【0039】

一方、バンプの大きさや形状は、今後様々な種類のものが生産されると予想され、これにともないバンプ高さの検査のレンジも広くなることが予想される。例えば、今まででは、小さいものでも LSI チップ面からの高さが $50 \mu m$ 程度であったが、最近は、高さ $10 \sim 20 \mu m$ 程度のものも実用化されつつある。この場合、一般には、小さいバンプほど高精度の高さ検査が要求され、逆に大きなバンプでは、微小バンプほどの高さ検査精度は要求されず、ユーザ要求からすると、バンプ高さの $1/20$ 程度の高さ検査精度が要求されているようである。

【0040】

そして、微小バンプの場合は、上述した高精度検査モードにより対応すればよいが、大きなバンプの場合は、次のようにしている。

【0041】

いま、一例として、高さ $50 \mu m$ の大きさのバンプを検査する場合を考えると、要求される検査精度は、 $100 \mu m$ の $1/20$ で $\pm 5 \mu m$ となり、対物レ

ンズ8を前述と同様にNA=0.3とすると、Z方向のサンプリング間隔△Zは、最も粗くても $3.37\mu m$ である。これは、要求される精度を十分に満足できるので、精度上では問題ないが、△Zとしてはオーバスペックで、検査装置としては、検査時間を無駄に費やしているという問題を生じる。つまり、1チップ当たりの検査コストに無駄なコストがかかっていることになる。このことからも、検査装置として要求されるのは、必要十分な検査精度で、かつ検査時間をできるだけ短縮して1チップ当たりの検査コストを抑制することが理解できる。

【0042】

このような高さ測定のレンジの変化に対応するには、NAが異なる複数の対物レンズ8を用意し、測定レンジに合わせてIZカーブの急峻さを選択できるように最適なNAの対物レンズ8に交換する方法が考えられる。しかし、バンプ検査に用いられる低倍率の対物レンズ8は、上述もしたが高価で大型であるため、コスト的に問題となり、また、自動的に対物レンズを切換えるため、電動レボ機構を用意すると、電動レボ機構自体も非常に複雑なものとなり、コストもかかり、さらに、レボ機構は、構成上剛性が低くなるので、振動などの外乱に影響されやすく測定精度も劣化してしまう。

【0043】

そこで、本発明では、絞り13の絞り径をコンピュータ14の指示により可変させることにより、非常な簡便な構成で低成本により複数のIZカーブ曲線を選択できるようにしている。つまり、絞り13が最大径のときにNA=0.3とすると、絞り13の径を1/1.2にすればNA=0.25となり、絞り13の径を2/3にすればNA=0.2となって、セクショニング像を得るための条件を可変することで、最適なNAの対物レンズ8に交換するのと同等な結果が得られようとしている。

【0044】

この場合、対物NA(0.3、0.25、0.2)に対して、IZカーブのt_h=0.5、W0.5内で最低3個のデータを得るためにZサンプリング間隔△Z、結像レンズ6のディスクへの射出NA'、共焦点ディスク4上でのエアリディスク直径φaの関係を表わすと、図3に示すようになる。ただし、第1の光

学系の倍率を3倍とすると、 $NA' = NA / 3$ 、 $\phi a = 1.22 * NA' / \lambda$ 、光波長 $\lambda = 0.55 \mu m$ である。

【0045】

これにより、図3において、例えば、W0.5内で最低3個のデータを得るためにZサンプル間隔 ΔZ を、 $NA = 0.3$ と $NA = 0.2$ の場合について比較すると、 $NA = 0.3$ では、2.67になるのに対して、 $NA = 0.2$ では、5.87になるので、 $NA = 0.2$ の場合の ΔZ は、 $5.87 / 2.67 = 2.2$ より2倍以上も粗くサンプリングできるようになり、測定レンジ拡大による測定時間の増加を抑制することができるようになる。

【0046】

なお、理想的な共焦点光学系の場合、共焦点ディスク4のピンホールは無限小であるが、これでは透過光がゼロになってしまうので、共焦点ディスク4上でのエアリディスク直径 ϕa 以下にする。実際には、S/Nも考慮して ϕa の2/3程度で設計される場合が多い。また、絞り13でNAを変化させると厳密には、共焦点ディスク4の最適なピンホール径も変わって、ディスクを交換する必要が出てくる。これを避けるため、 $NA = 0.3$ でのピンホール径= $\phi a * 2 / 3 = 6.71 * 2 / 3 = 4.5 \mu m$ に設定しておけば、 $NA = 0.25$ 、 $NA = 0.2$ のときでも共焦点ディスク4は共通に使用することができる。ただし、この場合、NAが小さくなると、共焦点ディスク4上でのエアリディスク直径 ϕa が大きくなるため、暗い画像になるが、この場合は、その分光源1の明るさを上げればよい。また、NAを小さくする場合は、大きなレンジ、即ち大きなバンプを測定する場合で、このような条件では、CCDカメラ12で撮像されるバンプの頂点像も大きくなり、トータルの検出光量は増えるので、NAが小さくなることによる光量減少を補足する効果も出てくる。

【0047】

従って、このようにすれば、絞り13の絞り径を可変させて高さ測定に最適な対物レンズ8のNAを選択できるようにしたので、Z測定範囲を犠牲にしても高精度で測定したい要求、精度は犠牲にしてもZ測定範囲の大きくする要求、あるいは精度を犠牲にしても検査時間の高速化を重視する要求など、1台の装置でさ

さまざまな要求に対して、必要十分な検査精度のもとで検査時間をできるだけ短縮しつつ対応することができるようになり、1チップ当たりの検査コストを低減することができる。また、対物レンズ8も1本で済むので、装置コストを大幅に低減でき、しかも対物レンズ8のレボ切替え機構なども不要にできるので、対物レンズ固定部の剛性劣化による高さ測定精度の劣化も防止することができる。

【0048】

なお、上述した実施の形態では、絞り13の可変絞り動作は、コンピュータ14の制御により行うようにしたが、手動でもよいし、手動電動の両方、または、絞り13を所定絞り径のものと交換するようにしてもよい。

【0049】

(第2の実施の形態)

図4は、本発明の第2の実施の形態の概略構成を示すもので、図1と同一部分には、同符号を付している。

【0050】

この場合、図1で述べた絞り13を対物レンズ8の瞳位置と共に光源1の前面位置に配置し、対物レンズ8の瞳位置にテレスコントリック絞りとして固定絞り130を配置している。この場合、セクショニング効果は、照明のNAと反射光の取り込みNAの2つで決まるが、光源1前面の絞り13を可変して照明のNAを変えることによりセクショニング効果を変えるようにしている。

【0051】

このようにすれば、絞り13の絞り径を小さくすると、対物レンズ8の瞳に投影される絞り13の像が小さくなり、結果としてサンプル9に対する照明光のNAが小さくなるので、セクショニング効果を可変できるようになり、上述したと同様な効果を期待できる。

【0052】

(第3の実施の形態)

上述した実施の形態では、共焦点ディスク4が用いられ、この共焦点ディスク4として複数のピンホールが螺旋状に形成されたNipkowディスクを使用した例を述べたが、セクショニング効果を発生させるディスクパターンであれば、

どのようなパターンであってもよい。

【0053】

図5 (a) は、当社で開発（特願2000-060578号）した直線状の遮光ラインと透過ラインを交互に形成してなる周期的なラインパターン領域32を有するディスク33、同図 (b) は、ラインパターン領域32に対して直交する方向の他のラインパターン領域34を有するディスク35を示している。

【0054】

この場合、これらパターンの特徴は、同図 (c) に示すように、パターンピッチPに対して光の透過部のスリット幅Sが $1/2$ 以下であることである。このうち、スリット幅Sは、第1の結像光学系の結像レンズ6のディスクへの射出NA'で決定され、ディスク上でのエアリーディスク径の $2/3$ 程度に設計する場合が多い。

【0055】

ここで、 $S/P = 0.5$ の場合は、得られる画像中に含まれる非共焦点画像の割合が0.5となり、 $S/P = 0.1$ の場合は、非共焦点画像の割合が0.1となり、同様に $S/P = 0.05$ の場合は、非共焦点画像の割合が0.05となる。これにより、 $S/P = 0.1$ 以下程度にすれば、実質的に有用なセクションング効果が得られることになる。また、 $S/P = 0.01$ にすると、非共焦点画像の割合が0.01となり、これは、実質的にNipkowディスクで得られる画像に含まれる非共焦点画像の割合とほぼ同等の割合となる。しかし、当然のことながらS/Pを小さくするほど画像は暗くなるので、アプリケーションに応じて最適なS/Pを設定すればよい。

【0056】

このような一方向の周期的なラインパターン領域32（および直交する方向のラインパターン領域34）を有するディスク33（35）によれば、Nipkowディスクに比べてパターン形成が簡単で製造が容易なので、安価であり、しかもS/Pの値を選択することにより、アプリケーションに応じて最適な非共焦点画像の割合を任意に設定することもできる。

【0057】

【発明の効果】

以上述べたように本発明によれば、検査コストの低減を図ることができる共焦点顕微鏡および光学式高さ測定方法を提供できる。

【図面の簡単な説明】**【図 1】**

本発明の第1の実施の形態の概略構成を示す図。

【図 2】

第1の実施の形態を説明する共焦点画像を示す図。

【図 3】

第1の実施の形態を説明するための図。

【図 4】

本発明の第2の実施の形態の概略構成を示す図。

【図 5】

本発明の第3の実施の形態に用いられる共焦点ディスクを説明する図。

【図 6】

バンプ電極が形成されたLSIチップの概略構成を示す図。

【図 7】

LSIチップと基板の接続状態を示す図。

【図 8】

不良バンプの状態を説明するための図。

【図 9】

一般的な共焦点光学系の概略構成を示す図。

【図 10】

NAをパラメータとしたIZカーブを示す図。

【図 11】

実測した対物レンズのIZカーブを示す図。

【符号の説明】

1 …光源

2 …レンズ

3 … P B S

4 … 共焦点ディスク

5 … モータ

6 … 結像レンズ

7 … 波長板

8 … 対物レンズ

9 … サンプル

9 a … L S I チップ

9 b … バンプ

10. 11 … レンズ

12 … C C D カメラ

13、141、130 … 紋り

14 … コンピュータ

15 … 焦点移動装置

16 … サンプルステージ

32 … ラインパターン領域

33 … ディスク

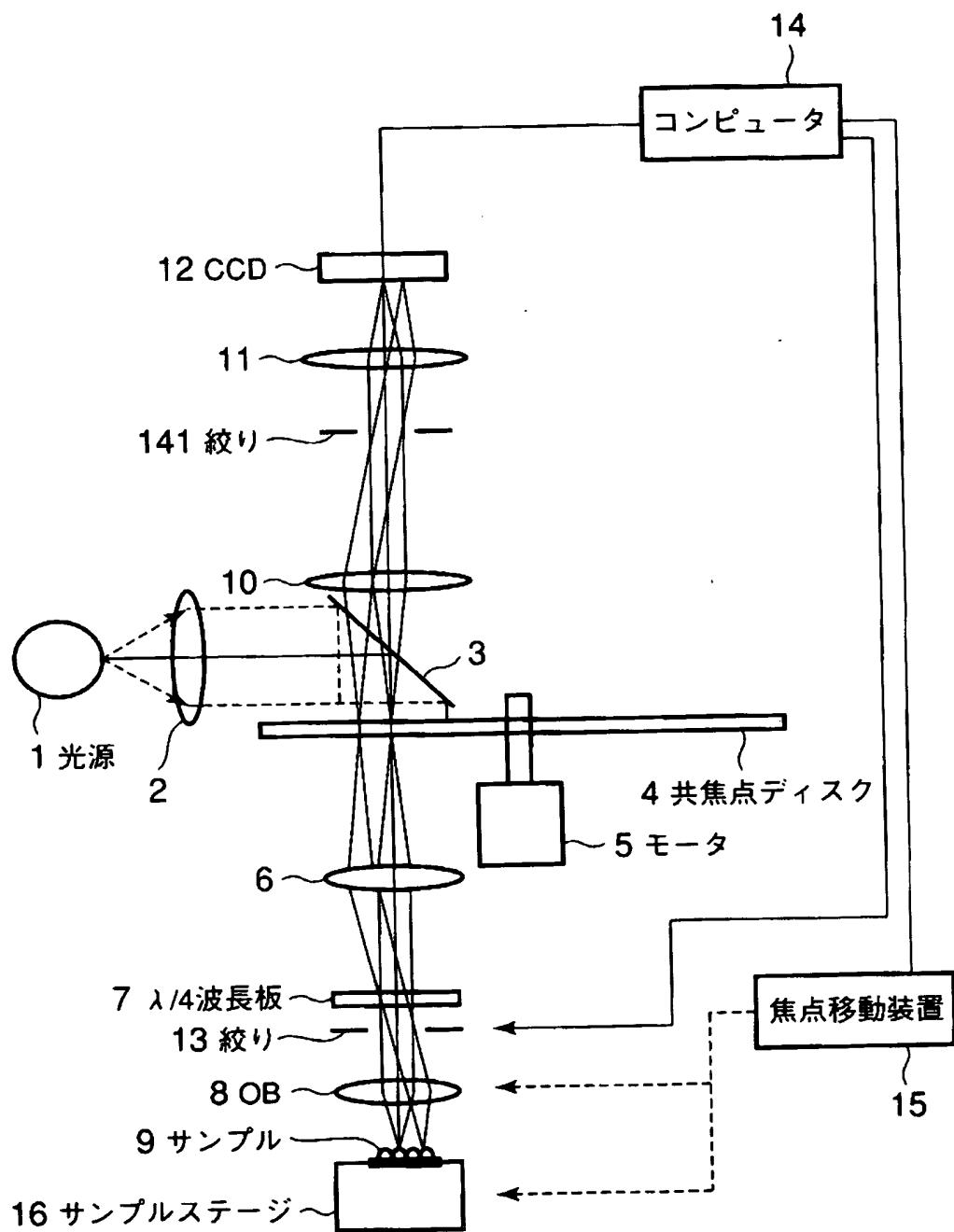
34 … 他のラインパターン領域

35 … ディスク

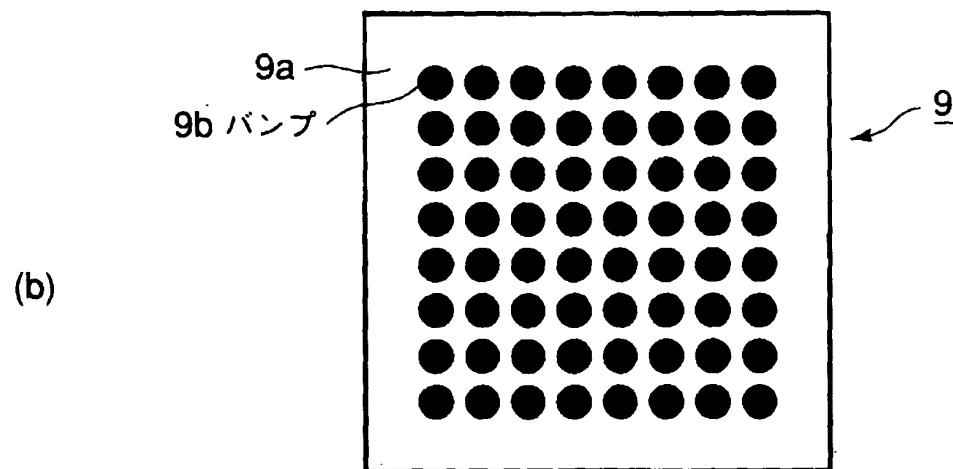
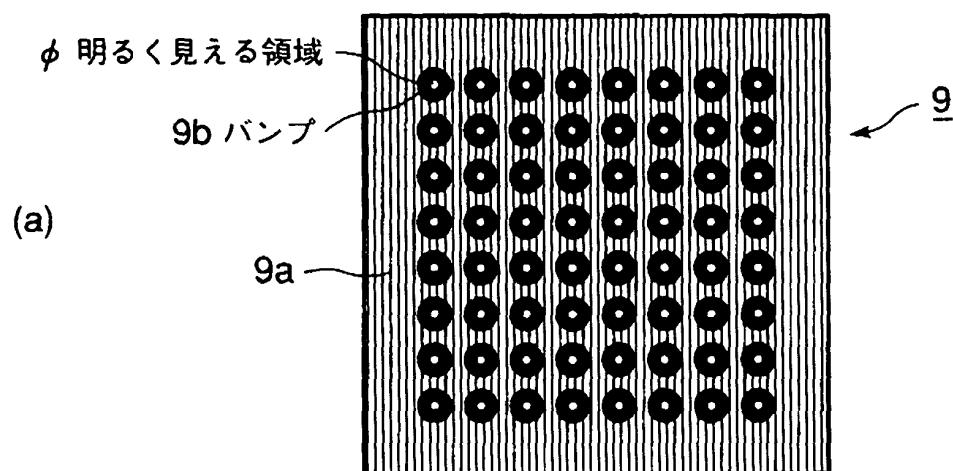
【書類名】

図面

【図 1】



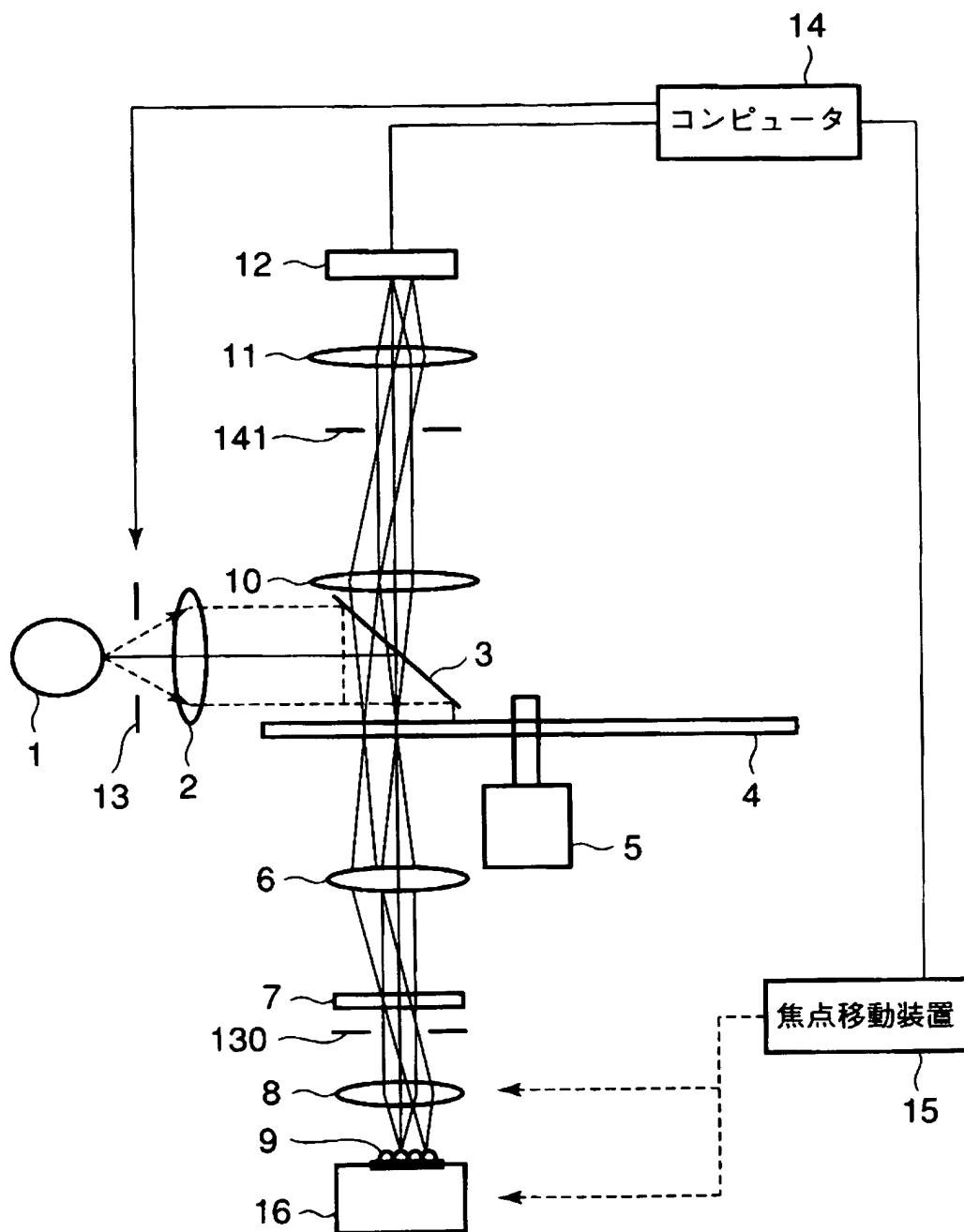
【図2】



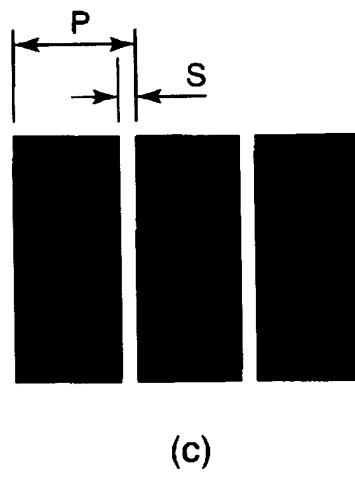
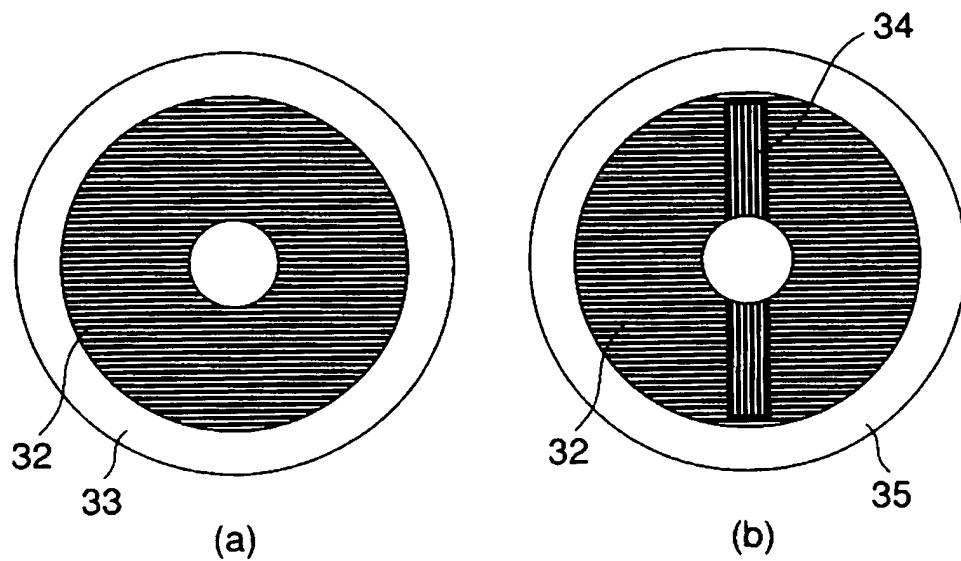
【図3】

対物NA (μm)	W0.5 (μm)	ΔZ (μm)=W0.5/3	結像レンズ6 の射出NA'	DISK上でのエリアディスク直径 ϕ_a (μm)
0.3	8	2.67	0.1	6.71
0.25	11.4	3.8	0.083	8.08
0.2	17.6	5.87	0.067	10.01

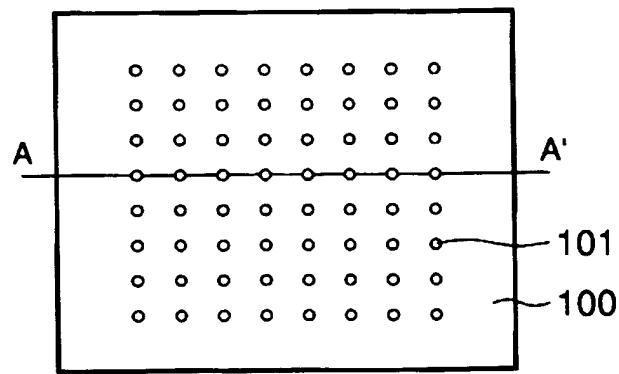
【図 4】



【図5】



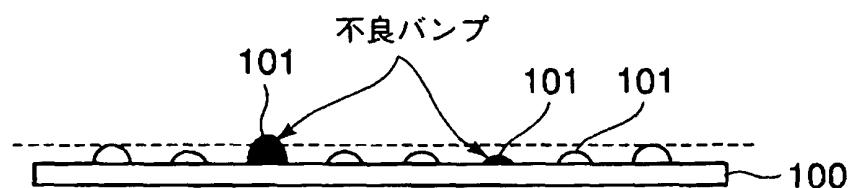
【図6】



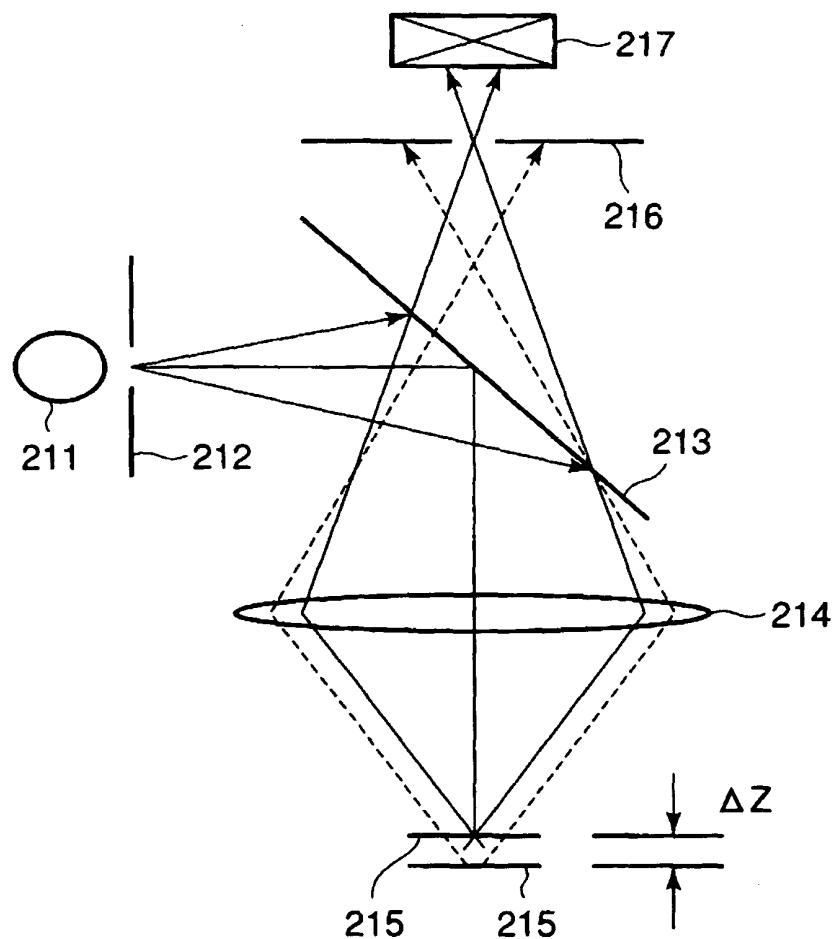
【図7】



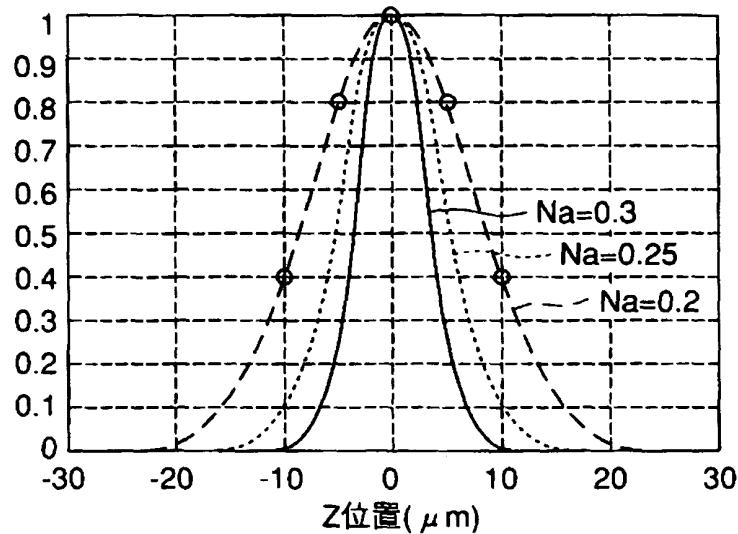
【図8】



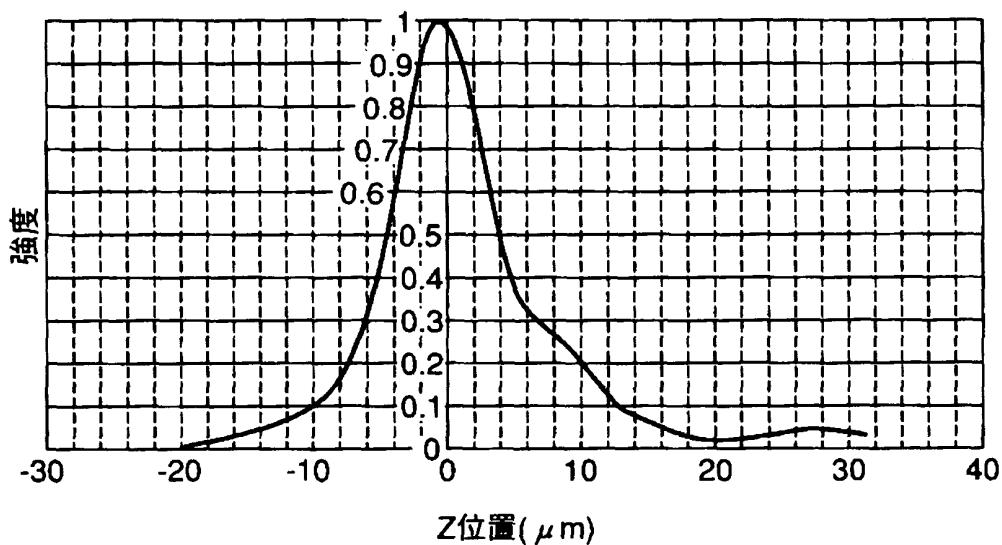
【図9】



【図 10】



【図 11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 検査コストの低減を図ることができる共焦点顕微鏡および光学式高さ測定方法を提供する。

【解決手段】 サンプル9に対して対物レンズ8を介した光を照射させると共に、サンプル9と対物レンズ8とを光軸上で相対的に移動させつつ、サンプル9からの反射光をセクショニング像として取得し、この取得されたセクショニング像をCCDカメラ12に結像させるものであって、セクショニング像の取得条件を絞り13により可変可能にした。

【選択図】 図1

特願2001-055604

出願人履歴情報

識別番号 [000000376]

1. 変更年月日 1990年 8月20日

[変更理由] 新規登録

住所 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号
氏名 オリンパス光学工業株式会社